

Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования
«Гомельский государственный университет
имени Франциска Скорины»

О. В. Шершнев

Автоматизация производственных процессов

Практическое руководство

для слушателей специальности 1-51 02 71
«Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений»

Гомель
ГГУ им. Ф. Скорины
2015

УДК 66-933.6:622.276

ББК 65.305.143.222с51+65.305.143.23с51

Ш-507

Рецензенты:

кандидат геолого-минералогических наук А. П. Гусев;

кандидат геолого-минералогических наук А. Н. Галкин

Рекомендовано к изданию научно-методическим советом учреждения образования «Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины»

Шершнев, О. В.

Ш-507

Автоматизация производственных процессов: практическое руководство / О. В. Шершнев ; М-во образования РБ, Гом. гос. ун-т им. Ф. Скорины. – Гомель: ГГУ им. Ф. Скорины, 2015. – 40 с.

ISBN 978-985-439-947-8

Практическое руководство разработано в соответствии с учебной программой курса «Автоматизация производственных процессов» и содержит практические задания по изучению принципов действия и применения технических средств измерений нефтегазодобывающими предприятиями, объектами транспорта и хранения нефти и газа.

Адресовано слушателям заочной формы обучения специальности 1-51 02 71 «Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений».

УДК 66-933.6:622.276

ББК 65.305.143.222с51+65.305.143.23с51

ISBN 978-985-439-947-8

© Шершнев О. В., 2015

© УО «Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины», 2015

Содержание

Введение	4
Практическое занятие 1. Измерение давления и разрежения	5
Практическое занятие 2. Измерение температуры	12
Практическое занятие 3. Измерение расхода и количества жидко- сти и газа	18
Практическое занятие 4. Измерение уровня	28
Практическое занятие 5. Глубинные приборы	33
Список использованных источников	40

Введение

Практическое руководство по выполнению практических работ «Автоматизация производственных процессов» предназначено для слушателей Института повышения квалификации и переподготовки кадров заочной формы обучения по специальности 1-51 02 71 «Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений».

Автоматизация производственных процессов нефтяных и газовых промыслов – это применение приборов, приспособлений и машин, обеспечивающих бурение, добычу, промысловый сбор, подготовку и передачу нефти и газа с промысла потребителю без непосредственного участия человека, лишь под его контролем.

Внедрение автоматизированных систем управления технологическими процессами бурения скважин, добычи, подготовки и переработки нефти и газа обеспечивает повышение оперативности управления системой нефтегазового снабжения и объектами нефтяной и газовой промышленности, улучшение качества продукции.

Неотъемлемой частью производственных процессов на нефтегазодобывающих предприятиях, объектах транспорта и хранения нефти и газа, а также при реализации автоматизированных систем управления процессами разработки и эксплуатации нефтяных и газовых месторождений и технологическими процессами являются технические средства для измерения параметров. К ним относятся измерительные приборы, предназначенные для получения измерительной информации о таких физических величинах, как температура, давление, расход, уровень, которые характеризуют состояние разных технологических сред (твердых, жидких, газообразных), а также машин и агрегатов и их отдельных элементов, деталей и узлов. Измерение этих параметров и получение информации об их значениях и изменениях являются необходимыми на всех этапах протекания производственных процессов.

Руководство содержит 5 практических занятий по теоретическому курсу «Автоматизация производственных процессов». Структура практического руководства выполнена таким образом, чтобы слушатель при выполнении заданий мог изучить основные теоретические положения по ключевым вопросам данной дисциплины. Слушатель должен усвоить назначение, изучить принцип действия, применение, классификацию и характеристики приборов, применяемых на нефтегазовых промыслах. В конце каждого практического занятия приводятся контрольные вопросы для защиты практической работы.

Практическое занятие 1

Измерение давления и разрежения

Давление – величина, выражающая отношение силы к единице поверхности. В международной системе единиц (СИ) за единицу давления принята сила в один ньютон, действующая на поверхность в 1 м^2 и выражаемая в паскалях (Па): $1 \text{ Н/м}^2 = 1 \text{ Па}$.

Для технических измерений (в виде исключения) применяют следующие внесистемные единицы давления: физическая атмосфера ($1 \text{ атм} = 760 \text{ мм рт. ст.} = 1,033227 \text{ кгс/см}^2 = 1,01325 \text{ бар}$), техническая атмосфера ($1 \text{ ат} = 1 \text{ кгс/м}^2$), миллиметр ртутного столба ($1 \text{ мм рт. ст.} = 133,3224 \text{ Па}$), бар ($1 \text{ бар} = 10^5 \text{ Па}$) и др.

Различают следующие виды давления: *атмосферное (барометрическое) (p_0)*, *избыточное (p)*, *абсолютное (p_a)* и *разрежение (p_p)*. Связь между ними определяется формулами:

$$p = p_a - p_0; \quad (1)$$

$$p_a = p_0 + p; \quad (2)$$

$$p_p = p_0 - p_a. \quad (3)$$

Приборы для измерения давления и разрежения делят на следующие группы.

По роду измеряемой величины: *барометры* (измеряют атмосферное давление, p_0), *манометры* (p), *вакуумметры* (p_p), *мановакуумметры* (p и p_p), *дифференциальные манометры* (Δp – разность (перепад) давлений).

По принципу действия:

- *жидкостные* – давление уравнивается столбом жидкости;
- *поршневые* – давление, действуя по одну сторону поршня, уравнивается давлением, создаваемым силой, приложенной с противоположной стороны. Поршневые манометры относятся к числу наиболее точных приборов, поэтому применяются главным образом для поверки и градуировки приборов;

- *деформационные* – давление деформирует различного рода чувствительные элементы. Величина деформации, увеличенная при помощи передаточного механизма и преобразованная в перемещение указателя, является мерой измеряемого давления;

- *электрические* – принцип действия их основан на изменении электрических свойств некоторых материалов при воздействии на них

давления;

– *радиоактивные* – измеряемое давление вызывает соответствующее изменение ионизации, производимой излучениями и рекомбинацией ионов.

При бурении скважин чаще всего используются пружинные и электрические (с магнитоупругим преобразователем) манометры.

Манометры для измерения давления жидкости и газов конструктивно не отличаются.

Жидкостные манометры. В жидкостных манометрах используется принцип сообщающихся сосудов (рисунок 1). Принцип действия их основан на уравнивании измеряемого давления силой тяжести столба жидкости.

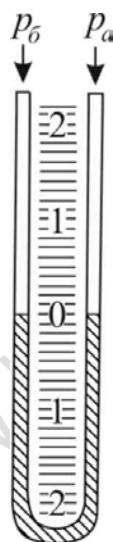


Рисунок 1 – Принцип действия жидкостного манометра

Для U-образного двухтрубного манометра давление определяется по разности уровней жидкости в трубах, в которые подаются атмосферное и абсолютное давления (или разность давлений):

$$p = \rho gh; \quad (4)$$

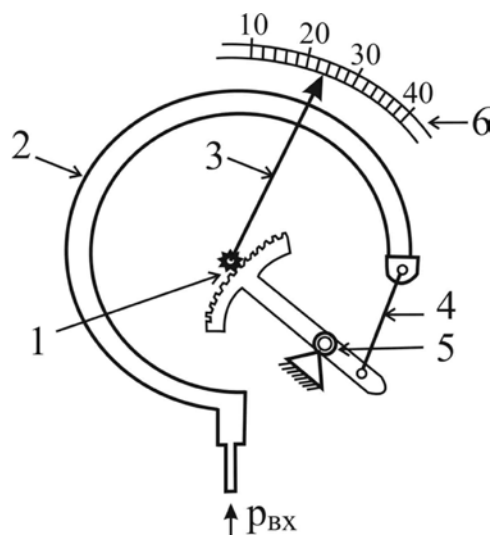
$$\Delta p = p_1 - p_2, \quad (5)$$

где ρ – плотность жидкости, заполняющей трубки, кг/м^3 ;
 g – ускорение силы тяжести, м/с^2 .

Деформационные манометры. Деформационные манометры широко используются для измерения избыточного давления и разряжения. Чувствительным элементом этих приборов могут быть серпо-

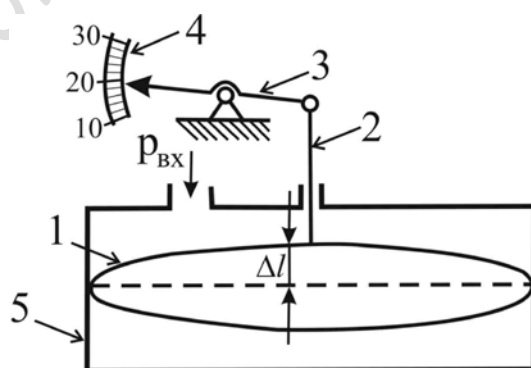
видная трубчатая пружина (трубка Бурдона), многовитковая трубчатая пружина (геликс), плоская мембрана, сильфон.

Пружинные манометры. Общий принцип действия пружинных манометров состоит в том, что под действием измеряемого давления ($p_{вх}$) чувствительный элемент деформируется (2) и посредством передаточно-множительного механизма (1, 4, 5) деформация преобразуется в круговое движение стрелки (3) вдоль шкалы (6) (рисунок 2). Величина раскручивания трубчатой пружины доходит до 10° .



1 – зубчатый сектор, 2 – трубка Бурдона, 3 – стрелка,
4 – тяга, 5 – ось вращения, 6 – шкала

Рисунок 2 – Схема трубчато-пружинного манометра



1 – металлическая мембрана, 2 – рычажный механизм, 3 – стрелка,
4 – шкала, 5 – корпус

Рисунок 3 – Схема мембранного манометра

Мембранные манометры. Мембранные манометры изготавливаются с плоской мембраной. Центральная часть плоской мембраны перемещается на 1,5–2,0 мм, поэтому передаточно-множительное устройство имеет большое передаточное число, что снижает чувствительность и точность измерений. Принцип действия мембранного манометра основан на том, что под действием давления ($p_{вх}$) металлическая мембрана (1) выгибается (Δl). Перемещение мембраны приводит в движение рычажный механизм (2), который перемещает стрелку (3) вдоль шкалы (4) (рисунок 3).

Наибольшая подвижность у мембран-сильфонов.

Сильфонные манометры. Сильфонный манометр представляет собой отрезок гофрированной трубки (трубка из латуни, бериллиевой бронзы или нержавеющей стали) (рисунок 4).

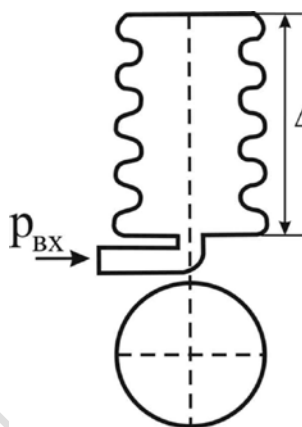


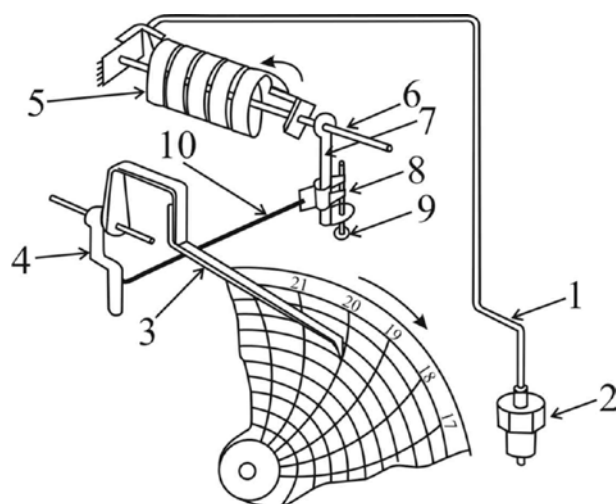
Рисунок 4 – Сильфон

При изменении давления внутри сильфона его высота или увеличивается, или уменьшается. Перемещение верхнего края сильфона приводит в действие рычажный механизм или преобразуется в электрический сигнал и передается стрелке, смещая ее вдоль шкалы.

Геликсные манометры. Их конструктивной особенностью является многовитковая трубчатая пружина (геликс) с числом витков трубки от 2,5 до 9. Свободный конец трубки раскручивается до 50–60°. Геликсные манометры могут быть показывающими, регистрирующими и с устройством для дистанционной передачи показаний по электрическим проводам.

Принцип действия геликсного манометра заключается в следующем. Измеряемое давление через штуцер (2) и трубку (1) воздействует на геликсную трубку (5), которая раскручивается и через ось (6), рычаг (7), ползун (8) и тягу (10) поворачивает стрелку с пером (3)

(рисунок 5).



- 1 – капиллярная трубка, 2 – штуцер, 3 – стрелка с пером,
4 – рычаг, 5 – геликсная пружина, 6 – ось, 7 – рычаг,
8 – ползун, 9 – винт, 10 – тяга

Рисунок 5 – Геликсный манометр

Отклонение стрелки пропорционально измеряемому давлению. Запись производится на диаграммный бланк, вращаемый часовым механизмом или синхронным микроэлектродвигателем.

Электрические манометры. Принцип действия электрических манометров основан на зависимости электрических параметров преобразователей давления от измеряемого давления среды. Они применяются в основном для измерения очень высоких давлений или разрежений, а также для измерения давлений, пульсирующих с высокой частотой. К этой группе манометров относятся: *пьезоэлектрические, емкостные, индуктивные, тензометрические.*

Принцип действия пьезоэлектрических манометров основан на явлении прямого пьезоэффекта, заключающегося в появлении разности электрических потенциалов на противоположных стенках пластины из пьезоматериала при сдавливании (или растягивании) пластины. Величина возникшей электродвижущей силы пропорциональна приложенному давлению и площади пластины пьезоматериала. В качестве пьезоматериала используют пластины из титана бария или цирконат-титаната свинца (рисунок 6). Выходная мощность пьезоэлектрических преобразователей мала, поэтому полезный сигнал должен быть обязательно усилен усилителем с большим входным

сопротивлением.

Напряжение (U) на гранях пьезокристаллов можно определить по формуле:

$$U = \frac{10^{12} K p S}{C_{\text{вх}} / n + C_0}, \quad (6)$$

где U – напряжение, В;

K – пьезоэлектрическая постоянная, Кл/Н;

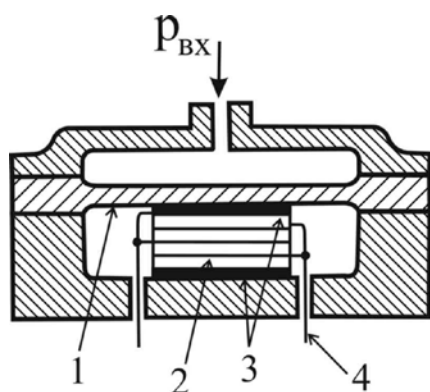
S – площадь поверхности кристалла, м²;

$C_{\text{вх}}$ – емкость измерительной цепи, пФ;

C_0 – емкость кристалла, пФ;

n – число пластин кристалла;

p – давление, Па.



1 – мембрана, 2 – пластины из пьезоматериала,
3 – металлизированные пластины, 4 – электроды

Рисунок 6 – Схема пьезоэлектрического манометра

Емкостные манометры представляют собой упругий мембранный манометр, в котором мембрана является одной из обкладок плоского конденсатора. При изменении давления меняется расстояние между обкладками конденсатора, что изменяет величину его емкости. Емкостной датчик имеет малую мощность и высокое сопротивление. Для увеличения мощности емкостных манометров их применяют в цепях повышенной частоты.

Индуктивные манометры представляют собой мембранный упругий манометр с индуктивным преобразователем перемещения мембраны. Преобразователь состоит из катушки с ферромагнитным сердечником. Часть магнитопровода расположена на мембране. При выгибании мембраны в сторону катушки магнитное сопротивление уменьшается и индуктивность катушки возрастает.

В *тензометрических манометрах* чувствительным элементом является тензорезистор, сопротивление которого изменяется в зависимости от его деформации (Δl), которая в свою очередь зависит от приложенного давления (рисунок 7).

Относительное изменение сопротивления ΔR линейно зависит от изменения длины Δl и определяется по формуле:

$$\frac{\Delta R}{R} = \frac{K_q \Delta l}{l} = \frac{K_q F}{SE_G}, \quad (7)$$

где K_q – коэффициент тензочувствительности (0,5–2,5);
 F – сила, приложенная к площади упругого элемента, кН;
 E_G – модуль упругости, ГПа;
 S – площадь упругого элемента, мм².

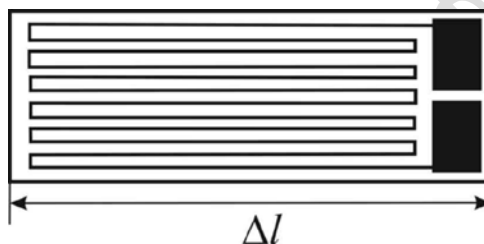


Рисунок 7 – Тензорезистор

Обычно тонкопленочный полупроводниковый тензорезистор приклеивается к упругой мембране манометра. Манометры, рассчитанные на большое давление (0,4 МПа и более), могут не иметь упругой мембраны вообще. В этом случае давление подводится к тензорезисторам. Измерение осуществляется с помощью мостовой измерительной схемы, плечами которой являются тензорезисторы. Тензометрические манометры малогабаритны, имеют высокую точность и диапазон измерений 0,1–40 МПа.

Контрольные вопросы

- 1 Назовите виды давления и единицы его измерения.
- 2 Приведите классификацию приборов для измерения давления и разрежения.
- 3 Опишите устройство и принцип действия жидкостных манометров. Условия их применения, преимущества и недостатки.
- 4 Перечислите виды деформационных манометров. Опишите их

устройство, принцип действия и области применения в нефтегазовой отрасли.

5 Какие существуют виды электрических манометров? Опишите их устройство, принцип действия и области применения в нефтегазовой отрасли.

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

Практическое занятие 2

Измерение температуры

Приборы для измерения температуры основаны на изменении физических свойств вещества при изменении температуры (таблица 1).

Таблица 1 – Устройства для измерения температуры и их диапазоны измерения

Используемый физический эффект	Наименование устройства	Пределы измерения температуры, °С	
		Нижний	Верхний
Тепловое расширение	Жидкостные термометры	-190	600
	Деформационные термометры	-150	700
Изменение давления	Манометрические термометры	-160	60
Изменение электрического сопротивления	Термометры сопротивления	-200	900
Термоэлектрические эффекты	Термоэлектрические термометры (термопары) стандартизованные	-50	1 600
	Термоэлектрические термометры (термопары) специальные	1 300	2 500
Тепловое излучение	Оптические пирометры	700	6 000
	Радиационные пирометры	20	3 000
	Фотоэлектрические пирометры	600	4 000
	Цветовые пирометры	1 400	2 800

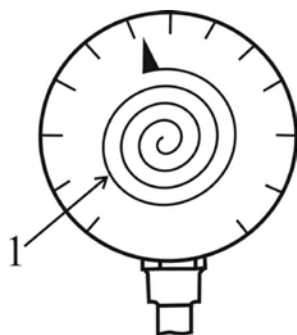
Термометры расширения. Принцип действия термометров расширения основан на использовании зависимости удельного объема вещества от температуры измеряемой среды, в которую оно помещено. Термометры расширения подразделяются на *жидкостные* и *деформационные*.

Жидкостные термометры построены на принципе теплового расширения жидкости, заключенной в небольшом закрытом стеклянном резервуаре.

Деформационные термометры основаны на относительном удлинении под влиянием температуры двух металлических тел

с различными температурными коэффициентами линейного расширения. Они подразделяются на *биметаллические* и *дилатометрические термометры*.

В *биметаллических термометрах* чувствительный элемент выполнен в виде спиральной или плоской пружины, состоящей из двух пластин из разных металлов (например, бронзы и молибдена), сваренных по всей длине (рисунок 8).

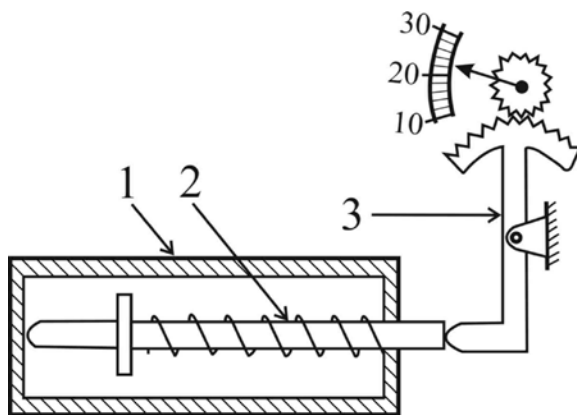


1 – спиральная биметаллическая пластина

Рисунок 8 – Схема биметаллического термометра

Внутренняя пластина имеет больший коэффициент линейного расширения, чем внешняя, поэтому при нагревании такая пружина раскручивается, а стрелка перемещается.

Принцип действия *стержневого дилатометрического термометра* основан на использовании разности удлинений трубки (1) и стержня (2) при нагревании вследствие различия коэффициентов их линейного расширения. Движение стержня передается стрелке прибора с помощью механической передачи (3) (рисунок 9).

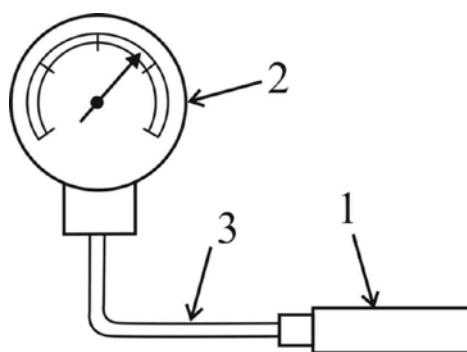


1 – трубка, 2 – стержень, 3 – механическая передача

Рисунок 8 – Схема дилатометрического термометра

Манометрические термометры. Принцип действия манометрических термометров основан на свойстве изменения давления вещества в замкнутом объеме под действием температуры. В зависимости от заполнителя (рабочего вещества) эти термометры подразделяются на газовые, жидкостные и конденсационные. Устройство всех типов манометрических термометров аналогично.

Принцип действия манометрического термометра заключается в следующем. Замкнутая измерительная система манометрического термометра состоит из чувствительного элемента, воспринимающего температуру измеряемой среды – металлического термобаллона (1), рабочего манометра (2) для измерения давления в системе, длинного соединительного металлического капилляра (3) (рисунок 9).



1 – термобаллон, 2 – манометр, 3 – соединительный капилляр

Рисунок 9 – Схема манометрического термометра

При изменении температуры измеряемой среды давление в системе изменяется и заставляет перемещаться стрелку по шкале манометра.

Термометры сопротивления.

Принцип действия *термометров сопротивления* основан на свойстве металлов изменять свое электрическое сопротивление при изменении температуры.

Выделяют 2 группы термометров сопротивления:

- 1) металлические термометры сопротивления;
- 2) полупроводниковые термометры сопротивления.

Материал для изготовления термометров сопротивления: медь, никель, платина.

Свойство металлов и полупроводников изменять свое электрическое сопротивление с изменением температуры характеризуется температурным коэффициентом сопротивления, величина которого

определяется уравнением:

$$\alpha = \frac{R_{100} - R_0}{R_0 \times 100}, \quad (8)$$

где R_{100} и R_0 – сопротивления проводника при температуре 100 и 0°C.

Величина α показывает, во сколько раз увеличивается сопротивление проводника при повышении его температуры на один градус и имеет размерность 1/град. Для большинства чистых металлов коэффициент положителен и приблизительно равен 0,004 1/град, для железа и никеля около 0,0064 1/град.

Если известна зависимость между электрическим сопротивлением (R) термопреобразователя сопротивления и его температурой (T), (т. е. $R = f(T)$ – градуировочная характеристика), то, измерив (R), можно определить значение температуры среды, в которую он погружен.

Полупроводниковые терморезисторы (термисторы), по сравнению с металлическими, обладают более высокой чувствительностью. Они имеют отрицательный температурный коэффициент сопротивления. Полупроводниковые терморезисторы при весьма малых размерах имеют высокие значения сопротивления (до 1 МОм). Для измерения температуры наиболее распространены полупроводниковые терморезисторы типов КМТ (смесь окислов кобальта и марганца) и ММТ (смесь окислов меди и марганца).

Вторичными приборами, работающими в комплекте с термометрами сопротивления, являются *логометры и уравновешенные мосты*.

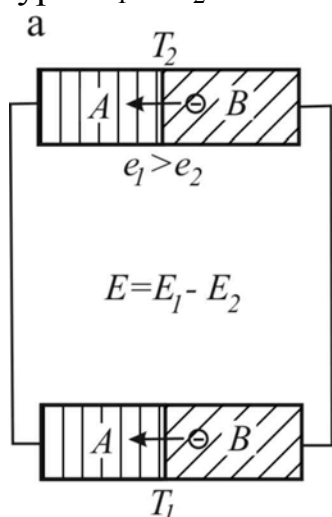
Термоэлектрические термометры. Принцип действия *термоэлектрических термометров* основан на явлении термоэлектрического эффекта, при котором два разнородных проводника спаяны между собой одними концами, а другие концы образуют термоэлемент, называемый *термопарой*.

Два спая проводников должны находиться при разных температурах. Спай, находящийся при более низкой температуре, называется холодным спаем, а спай, находящийся при более высокой температуре, называется горячим спаем.

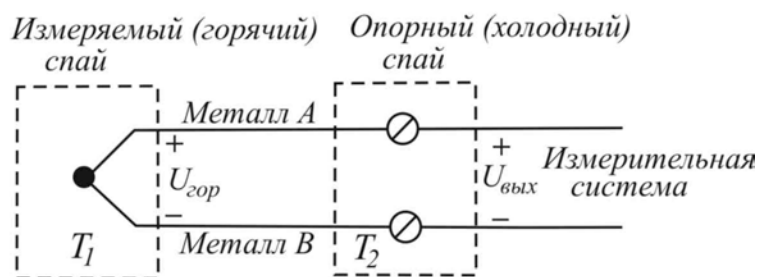
Термоэффект – это возникновение электродвижущей силы (ЭДС) в контуре, состоящем из двух проводников, имеющих разную работу выхода электронов.

Пусть имеются два металла A , B , объединенные в один контур, с работой выхода электронов e_1 и e_2 , соответственно (рисунок 10, а). Пусть места контактов двух металлов (спаи) имеют разные темпера-

туры T_1 и T_2 .



б



а – схема возникновения термоэффекта, б – схема термопары

Рисунок 10 – Принцип действия термопары

Скорость диффузии электронов через спай будет больше там, где будет больше температура спая. Вследствие этого на границах спая появятся ЭДС E_1 и E_2 . Их величины будут зависеть от скорости диффузии, которая в свою очередь зависит от температуры. Если $T_1 > T_2$, то ЭДС в первом спая больше, чем во втором и итоговая ЭДС в контуре отлична от нуля.

Помещая спай из металлов с отличными коэффициентами термо-ЭДС в среду с температурой T_1 , мы получим напряжение между противоположными контактами, находящимися при другой температуре T_2 , которое будет пропорционально разности температур T_1 и T_2 (рисунок 10, б):

$$E = \alpha(T_2 - T_1), \quad (9)$$

где E – термо-ЭДС, мВ;

T_1 и T_2 – температуры горячего и холодного контактов соответственно;

α – термоэлектрическая способность пары (или коэффициент термо-ЭДС).

В простейшем случае коэффициент термо-ЭДС определяется только материалами проводников, однако он зависит и от температуры, и в некоторых случаях с изменением температуры изменяет знак.

Величина термо-ЭДС составляет милливольты при разности температур в 100 °К и температуре холодного спая в 0 °С. Например, величина термо-ЭДС для пары медь–константан составляет 4,25 мВ,

платина–платина-родий – 0,643 мВ, нихром–никель – 4,1 мВ).

Для измерения температуры менее 1000 °С используют неблагородные металлы, для температур 1000–1600 °С – металлы платиновой группы.

Для образования термопары обычно используют такие сплавы металлов, как: хромель, алюмель, копель, константан и др. (таблица 2).

Таблица 2 – Характеристика некоторых типов термопар

Материал термоэлектродов		Диапазон температур, °С	Максимальная погрешность, °С
+	–		
Fe	Cu – Ni	–210 – +1 200	2,2
Хромель	Алюмель	–270 – +1 372	2,2
Cu	Константан	–270 – +400	1,0
Хромель	Константан	–270 – +1 000	1,7
Pt – Rh	Pt	–50 – +1 768	1,5

Хромель – сплав, состоящий в основном из никеля (89–91 %) и хрома (8,7–10 %), в качестве примесей присутствуют кремний, медь, марганец и кобальт.

Алюмель – сплав, состоящий из никеля (93–96 %), алюминия (1,8–2,5 %), марганца (1,8–2,2 %) и кремния (0,8–1,2 %).

Константан – сплав на основе меди (около 59 %), никеля (39–41 %) и марганца (1–2 %).

Копель – сплав никеля (43–44 %), меди (53–55 %) и железа (2–3 %).

Контрольные вопросы

1 Назовите методы измерения температуры. Приведите классификацию термометров и пределы измерения ими температур.

2 Назовите виды термометров расширения, устройство и принцип измерения температуры.

3 Охарактеризуйте устройство и принцип действия манометрических термометров.

4 На какие виды подразделяются термометры сопротивления? В чем заключается принцип их действия?

5 Что называется «термоэффектом»? Каковы условия его возникновения и протекания?

6 В чем заключается принцип действия термопары? Какие материалы используются в термоэлектрических термометрах и каковы

диапазоны измерения температур?

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

Практическое занятие 3

Измерение расхода и количества жидкости и газа

Расход – величина, которая определяется для равномерно перемещаемого вещества отношением массы (массовый расход), количества (молярный расход) или объема (объемный расход) вещества, проходящего через определенное сечение (перпендикулярное к направлению скорости потока), к промежутку времени, за который это перемещение происходит. Расход выражают соответственно в кг/с, моль/с и м³/с, иногда – в т/ч, кмоль/с, л/мин.

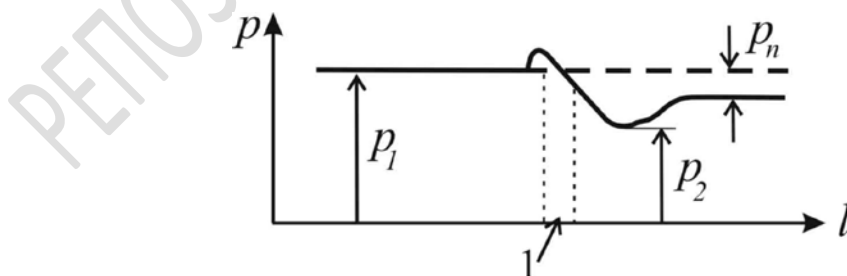
Количество – это масса или объем вещества, перемещаемого за некоторый промежуток времени, измеряется в м³ и кг.

Приборы для определения расхода называются **расходомерами**, а количества – **счетчиками**.

Для измерения расхода используют ряд физических явлений, на основе которых по принципу действия расходомеры и счетчики количества делят на следующие группы: *расходомеры переменного и постоянного перепада давления, тахометрические, ультразвуковые, электромагнитные, вихревые и кориолисовы*.

В зависимости от условий применения приборы могут быть разделены на *наземные и скважинные*.

Расходомеры переменного перепада давления. Для измерения расхода методом переменного перепада давления используются дифференциальные манометры (дифманометры). Принцип действия этих приборов основан на использовании сужающего устройства, устанавливаемого вдоль движения потока жидкости или газа (рисунок 11).



1 – сужающее устройство, p_1 и p_2 – статическое давление, p_n – потеря давления, l – длина трубопровода

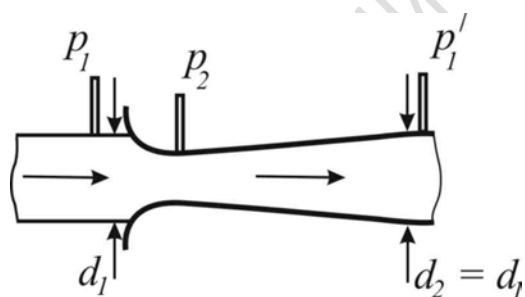
Рисунок 11 – График изменения давления по длине трубопровода при прохождении потока через сужающее устройство

Давление струи около стенки перед сужающим устройством возрастает из-за подпора перед ней. При проходе потока через сужающее устройство часть потенциальной энергии потока переходит в кинетическую, поэтому статическое давление после сужающего устройства становится меньше давления перед сужающим устройством.

После сужающего устройства давление резко падает, а затем постепенно возрастает до нового установившегося значения. Однако оно не достигает исходного значения из-за потери части энергии на трение и завихрения потока в зонах, прилегающих к поверхности сужающего устройства.

Разность давлений до и после сужающего устройства тем больше, чем больше расход протекающего вещества. Поэтому перепад давления может служить мерой расхода.

Для создания перепада давления существуют стандартные сужающие устройства – диафрагмы, сопла и трубы Вентури, характеристики которых можно определить расчетным путем (рисунок 12).



1 – трубопровод, 2 – труба Вентури,
 p – статическое давление, d – диаметр

Рисунок 12 – Труба Вентури

Расход вещества, протекающего по трубопроводу, можно определить как произведение площади отверстия истечения на среднюю скорость потока:

$$q_v = Fv_c, \quad (10)$$

где q_v – расход;

F – площадь отверстия;

v_c – средняя скорость потока.

Пользуясь уравнением Бернулли и условием неразрывности струи, можно описать зависимость между расходом вещества и пере-

падом давления на сужающем устройстве в следующем виде:

$$q_v = 1,11\alpha\delta K_t d^2 \sqrt{(p_1 - p_2) / \rho}; \quad (11)$$

$$q_m = 1,11\alpha\varepsilon K_t d^2 \sqrt{\rho(p_1 - p_2)}, \quad (12)$$

где α – коэффициент расхода;

ε – поправочный коэффициент, учитывающий расширение измеряемой среды;

K_t – поправочный коэффициент, учитывающий расширение сужающего устройства в зависимости от температуры измеряемой среды (в диапазоне температур от -20 до +60 °С можно принимать $K_t = 1$);

d – диаметр отверстия сужающего устройства, м;

ρ – плотность измеряемой среды в рабочих условиях кг/м³;

p_1 – давление до сужающего устройства, Н/м²;

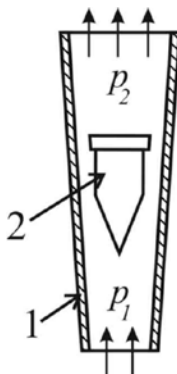
p_2 – давление после сужающего устройства, Н/м²;

q_v – объемный расход среды;

q_m – массовый расход среды.

Использование трубок Вентури обусловлено наименьшими потерями давления среди сужающих поток расходомеров. К другим устройствам, позволяющим измерять скорость потока и расход вещества, путем измерения динамического напора текущей жидкости или газа относятся трубка Пито, трубка Прандтля и др.

Расходомеры постоянного перепада давления (расходомеры обтекания). Наиболее широко применяемыми расходомерами обтекания являются – **ротаметры**. Они применяются для измерения расходов однородных потоков чистых и слабозагрязненных жидкостей и газов, протекающих по трубопроводам. Ротаметр представляет собой длинную коническую трубку, располагаемую вертикально, вдоль которой перемещается поплавков под действием движущегося снизу вверх потока (рисунок 13).



1 – коническая трубка, 2 – поплавков

Рисунок 13 – Принцип работы ротаметра

Поплавок перемещается до тех пор, пока площадь кольцевого отверстия между поплавком и внутренней поверхностью конусной трубки не достигнет такого размера, при котором перепад давления по обе стороны поплавка не станет равным расчетному. При этом действующие на поплавок силы уравниваются, а поплавок устанавливается на высоте, соответствующей определенному значению расхода.

Тахометрические (турбинные) расходомеры. Принцип действия этих устройств основан на использовании зависимости скорости движения тел – чувствительных элементов, помещенных в поток, от расхода вещества, протекающего через расходомеры. В турбинных тахометрических расходомерах чувствительными элементами являются вращающиеся под действием потока жидкости или газа турбины-крыльчатки, располагаемые горизонтально или вертикально. Частота вращения турбины пропорциональна скорости потока (рисунок 14).

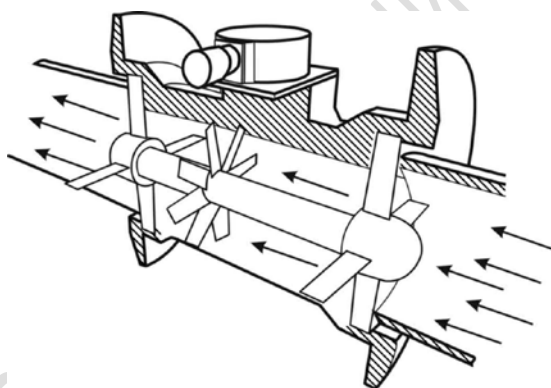


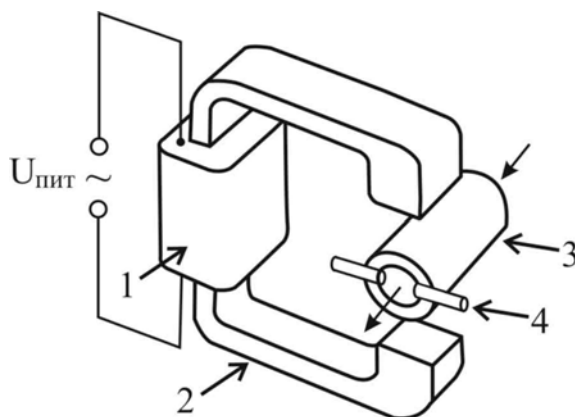
Рисунок 14 – Турбинный расходомер

Расходомер работает только с чистым газом или жидкостью. Поток должен быть ламинарный, для чего перед замерным узлом ставят спрямляющий участок или используют струевыпрямитель, который ставят перед расходомером.

В турбинных расходомерах жидкости с индукционным узлом съема сигнала частота вращения турбины преобразуется в электрический сигнал в индукционном преобразователе, в котором возникает ЭДС индукции при пересечении лопаткой турбины магнитного поля преобразователя. Далее электрический сигнал передается в электронный блок, где преобразуется в значения расхода и количества прошедшей через расходомер жидкости.

Электромагнитные (индукционные) расходомеры. Принцип из-

мерений с помощью электромагнитного расходомера основывается на законе индукции Фарадея, в соответствии с которым при перемещении проводника через магнитное поле в нем наводится напряжение. Этот принцип измерений применяется к текущей по трубе проводящей жидкости, поперек направления движения которой создается магнитное поле (рисунок 15).



1 – обмотка возбуждения, 2 – электромагнит,
3 – немагнитный участок трубопровода, 4 – электроды

Рисунок 15 – Принцип действия электромагнитного расходомера

Измерительный преобразователь расхода электромагнитного расходомера состоит из немагнитного участка трубопровода с токо-съемными электродами и электромагнита с обмоткой возбуждения, охватывающего трубопровод.

При протекании электропроводных жидкостей по немагнитному участку трубопровода через однородное магнитное поле, создаваемое электромагнитом, в жидкости, которую можно представить как движущийся проводник, возникает ЭДС, снимаемая электродами. Эта ЭДС прямо пропорциональна средней скорости потока и представляет собой сигнал, пропорциональный расходу, который поступает на измерительный блок (на рисунке не показан), где он преобразуется в стандартизированный вид и затем подается к измерительному или управляющему устройству.

Вихревые расходомеры. Принцип действия вихревых расходомеров с телом обтекания заключается в фиксации вихрей, возникающих за телом обтекания, помещенного в поток (рисунок 16). Частота образования вихрей (так называемая «дорожка Кармана») пропорциональна объемному расходу:

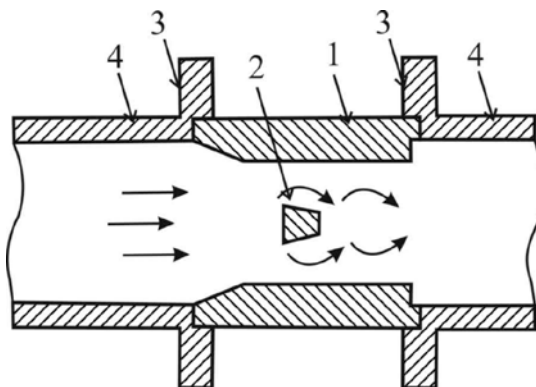
$$f = \frac{v}{d} Sh, \quad (13)$$

где f – частота образования вихрей;

v – скорость потока;

d – диаметр тела обтекания;

Sh – число Струхала, безразмерная величина, показывающая в каком состоянии находится поток (в турбулентном или в ламинарном).



1 – корпус расходомера, 2 – тело обтекания,
3 – фланцы расходомера, 4 – трубопровод

Рисунок 16 – Принцип действия вихревого расходомера

Вихревые расходомеры используются в чистых жидкостях. Частоту вихреобразования измеряют различными методами:

- с помощью датчиков давления;
- с помощью датчиков температуры;
- с помощью ультразвуковых датчиков.

Ультразвуковые расходомеры. Ультразвуковые расходомеры используют для измерения в жидких и в газовых средах. Ультразвуковые расходомеры не имеют подвижных механических частей, не вызывают потерь давления в трубопроводе, позволяют измерять расход в прямом и обратном направлениях. Все ультразвуковые расходомеры являются микропроцессорными, на выходе они имеют токовый и импульсный выходные сигналы, цифровой дисплей и т. д.

Принцип действия ультразвуковых расходомеров основан на измерении того или иного акустического эффекта (зависящего от расхода), возникающего при прохождении ультразвуковых колебаний через контролируемый поток жидкости или газа.

Принцип, положенный в основу конструкции ультразвуковых

расходомеров, заключается в том, что скорость ультразвука в среде является геометрической суммой векторов скорости распространения ультразвука в неподвижной среде и скорости среды (рисунок 17). Фактически ультразвуковой метод измерения позволяет измерять скорость среды. Время задержки распространения ультразвукового сигнала от излучателя до приемника можно выразить:

$$\Delta t = \frac{l}{c + v \cos \alpha}, \quad (14)$$

где Δt – время задержки распространения ультразвукового сигнала от излучателя до приемника;

v – скорость движения среды (потока);

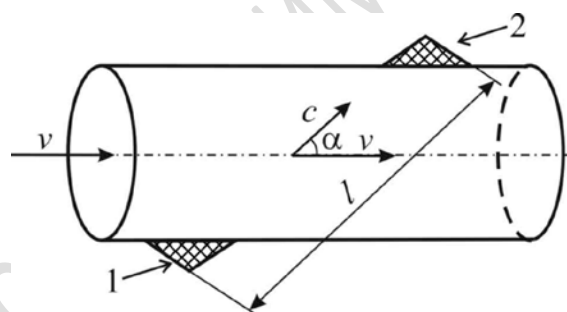
c – скорость распространения ультразвука в среде;

α – угол распространения ультразвукового сигнала в среде;

l – расстояние между излучателем и приемником ультразвука.

Тогда скорость потока:

$$v = \left(\frac{l}{\Delta t} - c \right) \frac{1}{\cos \alpha}. \quad (15)$$



1 – излучатель ультразвука, 2 – приемник ультразвука, v – скорость движения среды (потока), c – скорость распространения ультразвука в среде, α – угол распространения ультразвукового сигнала в среде, l – расстояние между излучателем и приемником ультразвука

Рисунок 17 – Принцип действия ультразвукового расходомера

Ультразвуковые расходомеры подразделяются на:

– расходомеры, основанные на перемещении ультразвуковых колебаний движущейся средой;

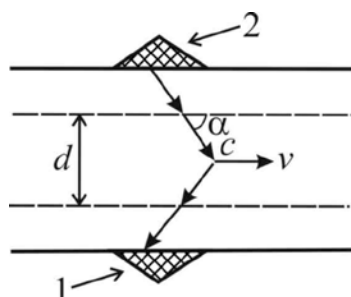
– расходомеры, работающие на принципе эффекта Доплера.

Ультразвуковые расходомеры отличаются по устройству первичных преобразователей и по используемым измерительным схемам.

Высокие частоты акустических колебаний (0,1–10 МГц) исполь-

зуются для измерения расхода чистых жидкостей. Для измерения загрязненных сред частоты колебаний значительно уменьшают до нескольких десятков КГц, чтобы предотвратить поглощение и рассеяние акустических колебаний. Длина волны должна быть в разы больше диаметра воздушных пузырей или твердых частиц. Для измерения расхода газов используют низкие частоты.

Эффект Доплера, положенный в основу принципа действия расходомеров, заключается в изменении частоты волны при её отражении от движущегося объекта (рисунок 18). В случае потока жидкости или газа отражающими объектами служат примеси в потоке.



1 – приемный преобразователь, 2 – передающий преобразователь,
 v – скорость движения среды (потока), c – скорость распространения
 ультразвука в среде, α – угол распространения ультразвукового
 сигнала в среде, d – внутренний диаметр трубопровода

Рисунок 18 – Принцип действия доплеровского расходомера

Если ультразвуковой сигнал распространяется в потоке под углом α со скоростью c и частотой f_0 , то при отражении ультразвука от частиц примесей, находящихся в потоке, имеющем скорость v , частота ультразвука изменяется (если поток движется навстречу лучу, то частота увеличивается, в противоположном направлении – уменьшается).

Оба типа измерения дополняют друг друга: если при импульсном методе измерения расхода наличие инородных частиц и пузырьков нежелательно (они рассеивают измерительный луч), то доплеровский метод измерения расхода, наоборот, требует наличия примесей и пузырьков, поэтому некоторые расходомеры совмещают в себе оба типа измерения.

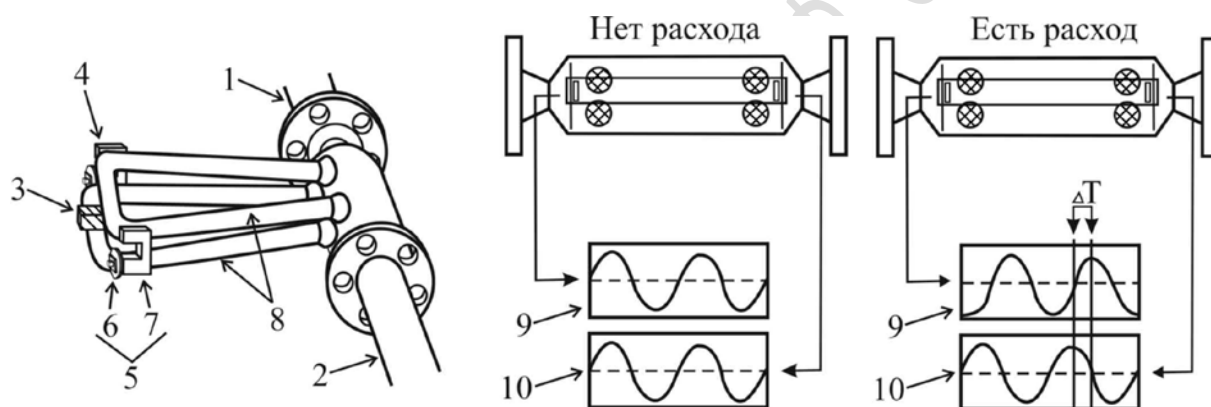
Кориолисовы расходомеры. Принцип действия кориолисовых расходомеров основан на эффекте возникновения силы Кориолиса, возникающей при криволинейном движении жидкости или газа.

Измеряя значение силы Кориолиса жидкости в вибрирующей трубе, можно определить массовый расход. Кориолисовы расходомеры могут измерять массовый расход, как в прямом, так и в обратном направлении течения жидкости.

В большинстве конструкций вибрирующий участок трубы закреплен в двух точках, и ей сообщается колебательное движение между этими двумя точками (рисунок 19).

Трубка может быть изогнутой или прямой. Когда расходомер состоит из двух параллельных трубок, поток разделяется на два потока на входе и соединяется в один на выходе.

Измеряемая среда, поступающая в сенсор, разделяется на равные половины, протекающие через каждую из сенсорных трубок. Движение задающей катушки приводит к тому, что трубки колеблются вверх-вниз в противоположном направлении друг к другу. Сборки магнитов и катушек-соленоидов, называемые детекторами, установлены на сенсорных трубках. Катушки смонтированы на одной трубке, магниты на другой. Каждая катушка движется сквозь однородное магнитное поле постоянного магнита.



1 – входной участок, 2 – выходной участок, 3 – задающая катушка,
4 – входной детектор, 5 – выходной детектор, 6 – катушка, 7 – магнит,
8 – сенсорные трубки, 9 – сигнал входного детектора,
10 – сигнал выходного детектора,
 ΔT – разница во времени между сигналами

Рисунок 19 – Принцип действия кориолисового расходомера

Сгенерированное напряжение от каждой катушки детектора имеет форму синусоидальной волны. Эти сигналы представляют собой движение одной трубки относительно другой.

Когда расход отсутствует, синусоидальные сигналы, поступающие с детекторов, находятся в одной фазе. При движении измеряемой среды через сенсор проявляется эффект Кориолиса. Поступательное движение среды во вращательном движении сенсорной трубки приводит к возникновению кориолисового ускорения, которое, в свою очередь, приво-

дит к появлению кориолисовой силы. Эта сила направлена против движения трубки, которое вызвано задающей катушкой, т. е. когда трубка движется вверх во время половины ее собственного цикла, то для жидкости, поступающей внутрь, сила Кориолиса направлена вниз. Как только жидкость проходит изгиб трубки, направление силы меняется на противоположное. Таким образом, во входной половине трубки сила, действующая со стороны жидкости, препятствует смещению трубки, а в выходной способствует. Это приводит к изгибу трубки.

Когда во второй фазе вибрационного цикла трубка движется вниз, направление изгиба меняется на противоположное. Сила Кориолиса и, следовательно, величина изгиба сенсорной трубки прямо пропорциональны массовому расходу жидкости.

Детекторы измеряют фазовый сдвиг при движении противоположных сторон сенсорной трубки. Как результат изгиба сенсорных трубок генерируемые детекторами сигналы не совпадают по фазе, так как сигнал с входного детектора запаздывает по отношению к сигналу с выходного детектора.

Разница во времени между сигналами (ΔT) измеряется в микросекундах и прямо пропорциональна массовому расходу. Чем больше ΔT , тем больше массовый расход.

Кориолисовые расходомеры позволяют определить массовый расход, плотность, объемный расход и температуру.

Контрольные вопросы

1 Назовите области применения расходомеров в нефтегазовой отрасли. Дайте определения расхода и количества вещества. В каких единицах они измеряются?

2 В чем заключается метод переменного перепада давления?

3 Приведите расчетные зависимости между расходом вещества и перепадом давления на сужающем устройстве.

4 Опишите принцип действия трубки Пито. Что называется статическим, полным и скоростным напором, как они определяются?

5 В чем заключается принцип действия ротаметров?

6 Опишите устройство и принцип действия тахометрических расходомеров.

7 В чем заключается принцип действия электромагнитных расходомеров?

8 Охарактеризуйте принцип действия и конструктивные особенно-

сти вихревых расходомеров.

9 В чем заключается принцип действия кориолисовых расходомеров? Опишите особенности их устройства.

10 На какие виды подразделяются ультразвуковые расходомеры? Охарактеризуйте их принцип действия.

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

Практическое занятие 4

Измерение уровня

Уровень – расстояние от поверхности раздела двух сред до любой произвольно выбранной отметки выше или ниже этой поверхности.

Различают уровнемеры:

- уровнемеры абсолютного значения уровня;
- сигнализаторы уровня (дают информацию о превышении или понижении уровня относительно заданной отметки);
- измерители раздела сред.

По принципу действия различают уровнемеры: *механические, буйковые, гидростатические, акустические, емкостные, радарные.*

В зависимости от *характера показаний* уровнемеры подразделяются на фиксирующие значения уровня непрерывно, дискретно с изменением уровня на заданную глубину и фиксирующие максимальное и минимальное значение уровня.

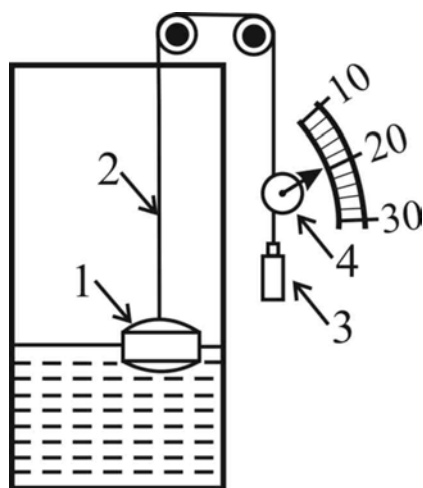
В зависимости от *целей наблюдения* за уровнем уровнемеры подразделяются на уровнемеры разовых замеров, периодических замеров (измеряющие уровень через заданное время) и уровнемеры непрерывного наблюдения.

По *виду предоставляемой информации* уровнемеры подразделяются на уровнемеры индикации (звуковые, световые, электрические сигналы), с измерительными приборами и графической записью – самописцы; более сложные комплексы включают измерительные показывающие приборы и регистраторы.

В зависимости от *расстояния передачи информации* уровнемеры подразделяются на уровнемеры местного и дистанционного измерения, а в зависимости от вида чувствительного элемента – на поплавковые, с электрическим чувствительным элементом, упругим чувствительным элементом.

В зависимости от *способа измерения* уровнемеры подразделяются на две группы: уровнемеры, непосредственно измеряющие уровень, т. е. следящие за изменением положения зеркала жидкости (контактные и бесконтактные), и уровнемеры, косвенно измеряющие уровень.

Механический поплавокый уровнемер. Чувствительным элементом поплавкового уровнемера является поплавок, находящийся на поверхности жидкости (рисунок 20). Поплавок связан с помощью гибкого троса с грузом. Движение поплавка передается с помощью троса на мерный шкив, на оси которого укреплен стрелка, показывающая по шкале уровень жидкости в резервуаре.



1 – поплавок, 2 – трос, 3 – груз, 4 – мерный шкив

Рисунок 20 – Принцип действия поплавкового уровнемера

Буйковый уровнемер. Принцип действия буйкового уровнемера основан на определении уровня по выталкивающей силе, действующей на погруженный в рабочую жидкость буюк. На буюк (в соответствии с законом Архимеда) действует выталкивающая сила, пропорциональная уровню погружения буйка и, соответственно, уровню жидкости. Действие этой силы воспринимает чувствительный элемент.

При изменении уровня жидкости сила, равная разности выталкивающей силы и силы сжатия пружины, ведет к незначительному вертикальному перемещению буйка, связанного с подвижным сердечником дифференциально-трансформаторного преобразователя (ДТП). Изменение положения сердечника вызывает изменение напряжения на выходе ДТП. Электронная схема преобразует изменение напряжения в выходной сигнал устройства.

Гидростатический уровнемер. В гидростатическом уровнемере уровень налива жидкости определяют по изменению гидростатического давления:

$$p_1 = \rho gh. \quad (16)$$

Для того чтобы исключить влияние плотности (которая меняется в зависимости от жидкости, налитой в емкость), ставят второй манометр (рисунок 21):

$$p_2 = \rho g(h-l). \quad (17)$$

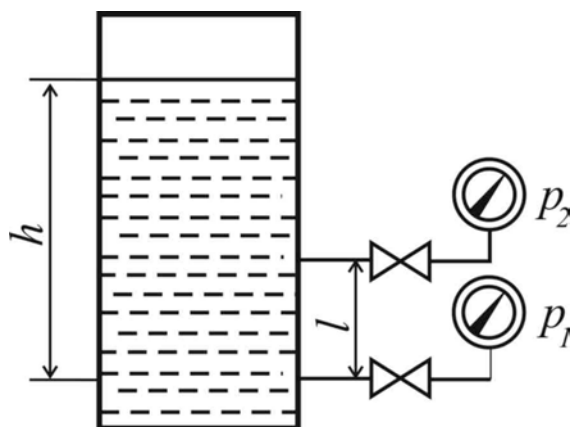


Рисунок 21 – Принцип действия гидростатического уровнемера

Плотность жидкости можно определить по формуле:

$$\rho = \frac{p_1 - p_2}{gl}. \quad (18)$$

Уровень жидкости определяем по формуле:

$$h = \frac{p_1 \cdot l}{p_1 - p_2}. \quad (19)$$

Акустический (ультразвуковой) уровнемер. В ультразвуковом уровнемере измеряется время прохождения акустического ультразвукового сигнала от излучателя до границы раздела двух сред и обратно:

$$\tau_{cp} = \frac{2h}{v_{зв}}, \quad (20)$$

где τ_{cp} – время распространения ультразвука в среде;

$v_{зв}$ – скорость звука в среде.

Скорость звука существенно зависит от температуры, поэтому в схеме обычно присутствует термометр, а скорость ультразвука рассчитывают по формуле:

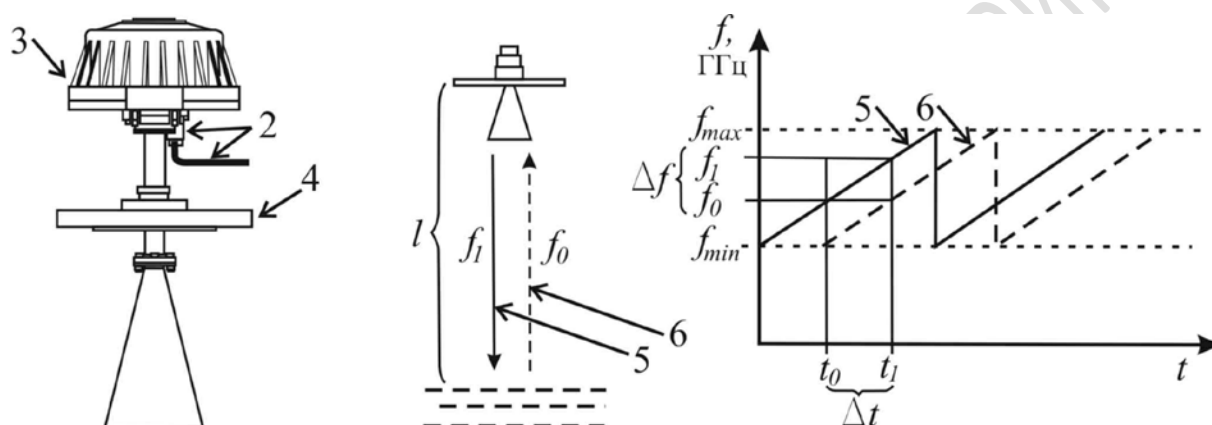
$$v_{зв} = v_0 (1 + (T - T_0) \alpha_{газа}), \quad (21)$$

где T – температура газовой среды над поверхностью границы раздела двух сред;

v_0 – скорость звука при температуре T_0 .
 Уровень жидкости определяем по формуле:

$$h = \frac{\tau_{cp} \cdot v_{зв}}{2}. \quad (22)$$

Радарный уровнемер. Принцип действия радарного уровнемера основан на определении времени прохождения электромагнитного сигнала от излучателя до границы раздела двух сред и обратно (рисунок 22).



1 – антенна, 2 – кабель и кабельные вводы, 3 – блок электроники,
 4 – соединение с резервуаром (фланец), 5 – излученный сигнал,
 6 – отраженный сигнал

Рисунок 22 – Схема и принцип действия радарного уровнемера

Электромагнитные волны распространяются со скоростью света. Прибор посылает электромагнитные сигналы от крышки резервуара к поверхности измеряемого вещества и измеряет время прохождения до возвращения сигнала к прибору. Для излучения электромагнитных волн используется специальная антенна в виде рупора. Используются частоты электромагнитного сигнала 10–30 ГГц.

Принцип измерений заключается в следующем. Излученный антенной радарный сигнал отражается от поверхности продукта и через определенное время, зависящее от скорости распространения и расстояния до поверхности продукта, вновь попадает в антенну. При этом частота излучаемого электромагнитного сигнала радара линейно меняется во времени.

Задержка отраженного от поверхности раздела сред сигнала приво-

дит к сдвигу фазы и частоты между посылаемым и принимаемым сигналами. В блоке электроники уровнемера происходит преобразование излученного и принятого сигнала. В результате, на выходе образуется сигнал, частота которого равна разности частот принятого и излученного сигнала. По разности частот определяется расстояние до продукта:

$$f_1 - f_0 = k \cdot \Delta t, \quad (23)$$

где k – коэффициент пропорциональности;

Δt – время задержки излученного и принятого сигналов.

Затем вычисляется уровень наполнения резервуара:

$$h = \frac{c \cdot \Delta t}{2} = \frac{c}{2} \left(\frac{f_1 - f_0}{k} \right), \quad (24)$$

где c – скорость распространения электромагнитной волны (300000 км/с).

Контрольные вопросы

- 1 Приведите классификацию приборов для измерения уровня.
- 2 Охарактеризуйте принцип действия и устройство поплавкового уровнемера.
- 3 В чём заключается принцип действия буйкового уровнемера?
- 4 Опишите принцип действия гидростатического уровнемера.
- 5 В чём заключается принцип действия акустического уровнемера?
- 6 Охарактеризуйте принцип действия и устройство радарного уровнемера.

Практическое занятие 5

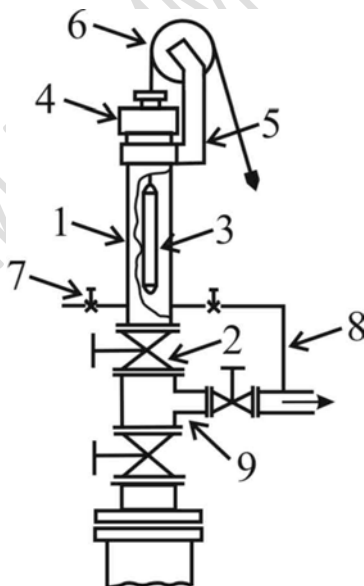
Глубинные приборы

Особенности глубинных приборов и требования, предъявляемые к ним. Глубинные приборы получили широкое распространение при исследовании фонтанных и компрессорных скважин до изменения режима их эксплуатации, когда необходимо измерить дебит и обводненность продукции, а также буферное и затрубное давление.

При остановке нагнетательных скважин температура воды в стволе резко повышается за счет тепла окружающих пород. Поэтому обычно при исследовании таких скважин для построения кривых падения давления используют данные изменения устьевого давления после остановки.

Использование глубинных приборов также необходимо при оценке режима эксплуатации глубинно-насосных скважин.

Спуск глубинных приборов в скважину осуществляется посредством специального устройства, называемого **лубрикатором** (рисунок 23).



- 1 – корпус, 2 – верхний фланец буферной задвижки арматуры устья скважины, 3 – спускаемый прибор, 4 – сальниковое устройство,
5 – кронштейн, 6 – удерживающий направляющий ролик,
7 – спускной кран, 8 – уравнильный отвод,
9 – боковой отвод

Рисунок 23 – Схема установки лубрикатора

Принцип работы глубинных приборов основывается на тех же физических процессах, которые положены в основу функционирования приборов общепромышленного назначения для измерения параметров состояния сред, в том числе при процессах переработки и транспортировки нефти и газа, которые были рассмотрены в предыдущих практических работах.

В то же время они отличаются определенными конструктивными особенностями, так как условия, при которых проводятся измерения параметров в скважинах, существенно отличаются от условий работы измерительных приборов общепромышленного назначения.

К особенностям работы глубинных приборов, в качестве примера, можно отнести следующие.

1. Измерения проводятся на значительном удалении от места наблюдения за показаниями приборов: глубина спуска прибора в скважину достигает 7 000 м.

2. Прибор эксплуатируется в измеряемой среде и подвергается действию окружающего давления, температуры и коррозионных жидкостей. В связи с увеличением глубин бурения, а также с необходимостью контроля различных процессов по интенсификации добычи нефти и газа, давление окружающей среды может достигать $1\,000\text{--}1\,500\text{ кг}\cdot\text{с}/\text{см}^2$, а температура до $300\text{--}400\text{ }^\circ\text{C}$.

3. Прибор спускается на проволоке или кабеле в затрубное пространство или в трубы диаметром 37–63 мм.

4. Во время спуска и подъема прибор подвергается ударам, а во время работы, например, в скважине, оборудованной установками погружных электронасосов, и действию вибрационных нагрузок.

В связи с этим к конструкции глубинных приборов предъявляется ряд требований. Вследствие воздействия на них встречного потока жидкости или газа и необходимости спуска в геометрически ограниченное пространство наружный диаметр корпуса приборов в основном не должен превышать 32–36 мм, а при спуске через 37 мм трубы или в затрубное пространство – 20–25 мм. Длина его также ограничена: обычно не превышает 2 000 мм, так как увеличение ее сверх этого предела значительно осложняет операции, связанные с подготовкой прибора к спуску в фонтанные скважины.

Кроме того, должна быть обеспечена полная герметичность внутренней полости прибора от внешнего давления. Особые требования предъявляются также к устройствам, расположенным в глубинном приборе и эксплуатируемым в условиях повышенной температуры, ударов и вибраций.

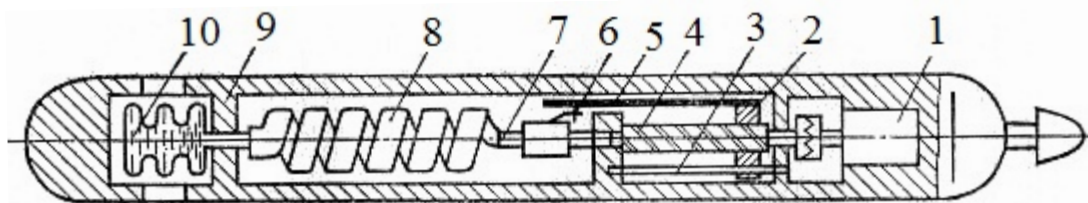
По способу получения измерительной информации глубинные

приборы подразделяют на:

- *автономные*, результаты измерения которых можно получить только после извлечения их из скважины;
- *дистанционные*, обеспечивающие передачу сигнала измерительной информации по кабелю.

Глубинные автономные манометры. Автономные скважинные манометры и дифманометры по принципу действия подразделяются на: *геликсные, пружинно-поршневые, компенсационные и электрические.*

Принцип действия геликсного манометра рассмотрим на примере манометра типа МГН-2, который предназначен для измерения давления в добывающих скважинах (рисунок 24).



- 1 – часовой привод, 2 – гайка, 3 – направляющая, 4 – ходовой винт,
5 – каретка, 6 – пишущее перо, 7 – ось, 8 – геликс, 9 – корпус,
10 – сильфон

Рисунок 24 – Схема устройства геликсного манометра МГН-2

Давление в скважине через отверстие в корпусе передается маловязкой жидкостью, заполняющей внутреннюю полость манометрической трубчатой пружины (геликса) и сильфона. Под действием измеряемого давления свободный конец геликса поворачивает ось, на которой жестко крепится пластинчатая пружина с пишущим пером. Перо чертит на бланке, вставленном в каретку, линию, длина которой пропорциональна измеренному давлению.

Для получения непрерывной записи давления каретка соединяется с гайкой, которая перемещается поступательно по направляющей при вращении ходового винта. Равномерное вращение винта осуществляется с помощью часового привода.

Верхние пределы измерения давления геликсными манометрами различных марок (МГН-2, МГИ-1М, МГИ-3, МГТ-1) составляют 10, 16, 25, 40, 60, 80, 100 Мпа при рабочих температурах от 100 до 400 °С.

Особенностью принципа действия *пружинно-поршневых глубинных манометров* является уравнивание измеряемого давления силой натяжения винтовой цилиндрической пружины.

Под влиянием скважинного давления поршень деформирует

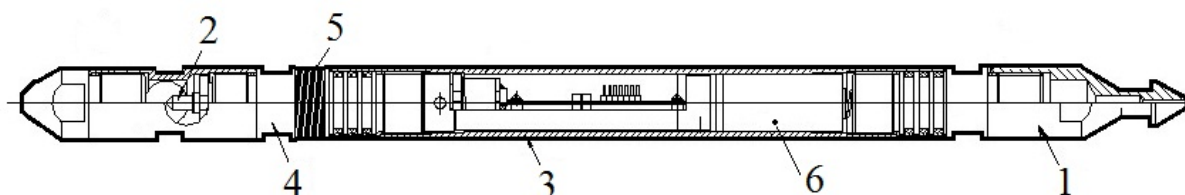
винтовую цилиндрическую пружину и перемещается на ход, пропорциональный измеренному давлению. Перемещение поршня регистрируется пишущим пером на бланке, вставленном в барабан.

Принцип действия *глубинных компенсационных манометров и дифманометров* основан на уравнивании измеряемого давления натяжением винтовой цилиндрической пружины. В отличие от пружинно-поршневых манометров прямого действия трение в записывающем устройстве этого прибора не влияет на его погрешность и чувствительность, так как деформация чувствительного элемента служит только для замыкания электрической цепи питания электродвигателя, который перемещает пишущее перо на ход, пропорциональный измеренному давлению.

Автономные компенсационные манометры предназначены для измерения и регистрации небольших давлений (0,4–2,5 МПа) в скважинах.

Принцип действия *глубинных автономных электрических манометров* основан на преобразовании сопротивления датчика давления и сопротивления датчика температуры в электрический сигнал.

В качестве примера рассмотрим принцип действия глубинного манометра-термометра САМТ-02-25-d32 (рисунок 25).



- 1 – наконечник для крепления к проволоке при спускоподъемных операциях,
- 2 – корпус датчика температуры и контакт интерфейсный для подсоединения внешних устройств,
- 3 – кожух для герметизации внутренних частей прибора, 4 – корпус,
- 5 – защитная пружина датчика давления, 6 – элемент питания

Рисунок 25 – Устройство глубинного манометра-термометра САМТ-02-25-d32

В датчике давления тензорезисторы, расположенные на мембране, включены по мостовой схеме, сбалансированной при атмосферном давлении. При подаче на мембрану давления, отличного от атмосферного, сопротивления тензорезисторов изменяются пропорционально приложенному давлению и, соответственно, изменяется

напряжение на выходе моста. Прибор оцифровывает и пересчитывает напряжение разбаланса моста в давление по данным калибровочной зависимости тензопреобразователя.

В преобразователе температуры используется взаимозависимость электрического сопротивления от температуры. Сопротивление датчика преобразуется в напряжение, полученный сигнал оцифровывается и пересчитывается в температуру в соответствии с калибровочной характеристикой датчика. В качестве датчика температуры используется платиновое сопротивление.

В зависимости от модификации данного типа прибора диапазон измерения давления составляет 0–60 Мпа, а температуры – от -40 до +125 °С.

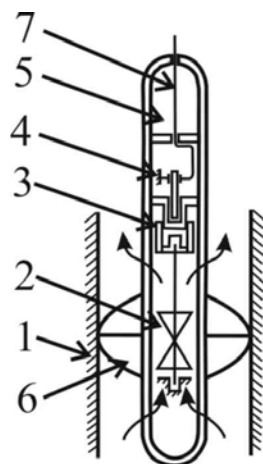
Особенности измерения расхода жидкости и газа в скважинах. При разработке многопластовых объектов возникает необходимость их послойного изучения, связанная с количественной оценкой притока жидкости по каждому пропластку или приемистости пропластков нагнетательных скважин. Для этой цели применяют дистанционные приборы, с помощью которых получают информацию о значениях дебитов (расходов) жидкости (газа) в разных точках по толщине продуктивного пласта. С помощью скважинных расходомеров можно также получить более точную кривую дополнительного притока жидкости в скважину после ее остановки, чем кривую, построенную по показаниям устьевых и глубинных манометров.

Приборы для измерения расходов жидкости и газа в скважинах условно подразделены на *расходомеры, предназначенные для измерения расходов воды и влажного пара, нагнетаемых в скважину, и дебитомеры, служащие для определения дебитов нефти и газа.* По принципу действия скважинные расходомеры подразделяют на *приборы постоянного перепада давления и тахометрические.*

Измерения расходов жидкости в скважинах имеют свои особенности, обусловленные прежде всего тем, что они проводятся в трубопроводах, образуемых открытым стволом скважины или эксплуатационной колонной, площадь поперечного сечения которых в месте замера обычно неизвестна. Поэтому при определении только скорости потока жидкости или газа нельзя точно измерить расход, равный произведению скорости на площадь поперечного сечения трубопровода. Кроме того, глубинный снаряд может занимать различные положения по сечению трубопровода и в зависимости от этого показания даже на одной и той же глубине будут неодинаковыми.

В связи с этим глубинные расходомеры (дебитомеры), как правило, снабжены специальными пакерами, предназначенными для

направления всего измеряемого потока через калиброванное сечение прибора и центровки положения глубинного снаряда в стволе скважины. Пакер раскрывается в скважине с помощью силового привода, управляемого с поверхности. В качестве пакеров применяют резиновые оболочки, раскрываемые гидравлически с помощью насосов, и металлические пластины, раскрываемые с помощью микроэлектродвигателей (рисунок 26).



- 1 – стенки скважины, 2 – турбинка (вертушка),
3 – П-образный магнит, 4 – магнитный прерыватель,
5 – узел управления, 6 – пакер, 7 – кабель к измерительному блоку

Рисунок 26 – Принципиальная схема
глубинного дистанционного расходомера-дебитомера

Чувствительным элементом большинства глубинных приборов служит турбинка. Широко применяют глубинные турбинные дебитомеры с металлическим пружинным пакером.

Для контроля расходов воды в нагнетательных скважинах часто используют беспакерные расходомеры с центратором, а также расходомеры с бесприводным пружинным пакером.

Комплексные приборы. Для получения наиболее достоверных результатов исследования скважин необходимо контролировать не только характер изменения давления, температуры и расхода жидкости, но и содержание в ней воды и газа, вязкость, плотность и другие параметры. Для этого при исследованиях скважин применяют *глубинные комплексные приборы*, предназначенные для определения в процессе исследования нескольких физических величин: давления, температуры, расхода и содержания нефти, воды и газа в потоке.

Для определения фазовых соотношений потока используют кон-

денсаторы. Емкость плоского или цилиндрического конденсатора зависит от его геометрических размеров и диэлектрической проницаемости среды, находящейся между обкладками. Изменение диэлектрической проницаемости среды при постоянных размерах вызывает соответствующее изменение емкости конденсатора, что позволяет определить процентное отношение, например, воды и нефти по известным диэлектрическим постоянным. Глубинные влагомеры обычно применяют в сочетании с дебитомерами.

Контрольные вопросы

- 1 В чем заключаются конструктивные особенности глубинных приборов для измерения параметров состояния сред и с чем это связано?
- 2 Охарактеризуйте устройство и принцип действия лубрикатора.
- 3 В чём заключается принцип действия глубинных геликсных манометров?
- 4 Опишите принцип действия пружинно-поршневых манометров.
- 5 В чём заключается принцип действия компенсационных манометров.
- 6 Опишите принцип действия электрических манометров.
- 7 Приведите характеристику конструктивных особенностей приборов для измерения расхода жидкости и газа в скважинах.
- 8 В чём заключается назначение и принцип действия глубинных комплексных приборов.

Список использованных источников

- 1 Автоматизация технологических процессов добычи и подготовки нефти и газа: учеб. пособие / Е. Б. Андреев [и др.]. – М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 2008. – 399 с.
- 2 Дудля, Н. А. Автоматизация и механизация производственных процессов при разведочном бурении / Н. А. Дудля. – К.: Донецк: Вища шк., 1987. – 184 с.
- 3 Березовский, В. А. Проектирование и эксплуатация АСУ нефтеперерабатывающими и нефтехимическими предприятиями / В. А. Березовский, В. А. Тарасов. – М.: Химия, 1977. – 256 с.
- 4 Исакович, Р. Я. Автоматизация производственных процессов нефтяной и газовой промышленности: учеб. пособие / Р. Я. Исакович, В. И. Логинов, В. Е. Попадько. – М.: Недра, 1983. – 424 с.
- 5 Комягин, А. Ф. Автоматизация производственных процессов и АСУ ТП газонефтепроводов / А. Ф. Комягин. – М.: Недра, 1983. – 376 с.
- 6 Исакович, Р. Я. Контроль и автоматизация добычи нефти и газа: учеб. пособие / Р. Я. Исакович, В. Е. Попадько. – М.: Недра, 1985. – 351 с.
- 7 Храменков, В. Г. Автоматизация производственных процессов: учеб. пособие / В. Г. Храменков. – Томск: Томский политехнический университет, 2011. – 343 с.

Производственно-практическое издание

Шершнев Олег Владимирович

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

Практическое руководство

для слушателей специальности 1-51 02 71

«Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений»

Редактор *В. И. Шкредова*

Корректор *В. В. Калугина*

Подписано в печать 14.01.2015. Формат 60х84 1/16.

Бумага офсетная. Ризография. Усл. печ. л. 2,6.

Уч.-изд. л. 2,8. Тираж 50 экз. Заказ 35.

Издатель и полиграфическое исполнение:

учреждение образования

«Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины».

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий № 1/87 от 18.11.2013.

Специальное разрешение (лицензия) № 02330 / 450 от 18.12.2013.
Ул. Советская, 104, 246019, Гомель.

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

О. В. Шершнев

**Автоматизация
производственных процессов**

Гомель
2015

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ